

Aula 5: Propagação de Calor

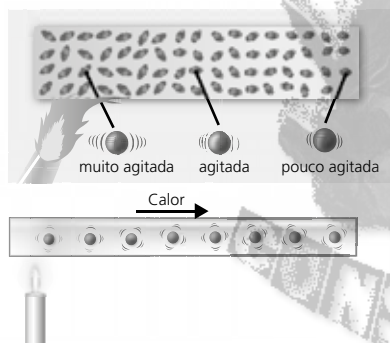
Introdução

Vimos anteriormente que a energia térmica é transferida espontaneamente das regiões de maior temperatura para as regiões de menor temperatura. Agora, vamos estudar as formas como pode ocorrer o mecanismo de transferência de energia, que chamamos **calor**.

Condução térmica

Experimente fazer brigadeiro utilizando uma colher completamente de inox (sem a proteção de madeira ou de plástico). Poderá notar que, com o tempo, ficará insuportavelmente quente segurar a colher. A energia “entra” na colher pela extremidade em contato com o brigadeiro e é transferida a toda ela. Isso ocorre porque as moléculas do brigadeiro, aquecidas, colidem com as moléculas da extremidade da colher que está em contato com ele, havendo posteriormente transferência para a extremidade à menor temperatura.

Parte da energia de agitação dessas moléculas da extremidade em contato com o brigadeiro quente é transmitida às moléculas vizinhas por meio da interação (força) que existe entre elas e das múltiplas colisões que ocorrem entre os elétrons “mais fracamente” ligados aos átomos.



É por esse motivo que os materiais que apresentam elétrons externos (da última camada) mais fracamente ligados aos átomos são melhores condutores de energia térmica: é o caso dos metais.

A madeira é um bom isolante térmico (ou um péssimo condutor), por isso é utilizada para revestir os cabos dos talheres e das panelas. É interessante notar que a madeira é um mau condutor, mesmo quando está vermelha de quente. Por esse motivo, é comum ver *shows* de pessoas que caminham descalças sobre brasa sem queimar os pés. Embora a temperatura da madeira seja suficientemente alta, o pouco tempo de contato faz com que haja pouco calor transferido da madeira para o pé, não o queimando.

Outro exemplo de mau condutor é o gelo. Por isso os esquimós constroem suas casas de gelo: os iglus. Mesmo estando a temperaturas baixas, o gelo dificulta a saída do calor de dentro do iglu para fora dele.

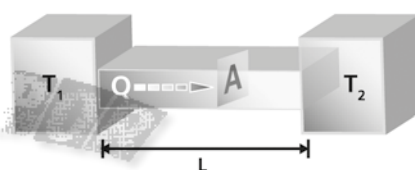
A maior parte dos líquidos e dos gases são maus condutores de calor. Sendo o ar um péssimo condutor de calor, materiais porosos também serão. É o caso dos cobertores de lã (a qual prende uma camada de ar entre os pelos) e do isopor.

Fluxo de calor na condução térmica (Lei de Fourier)

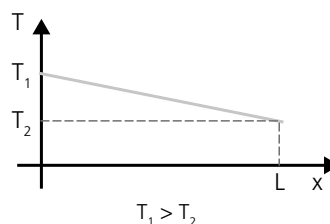
Quando usamos o termo “fluxo”, estamos fazendo alusão a uma transferência de certa quantidade de energia através de uma superfície. Contudo, é preciso que fique claro o fato de energia ser apenas uma propriedade escalar de um sistema que pode ser transferida, não se tratando, portanto, de um fluido.

Chama-se fluxo de calor (ϕ) a razão entre a quantidade de energia transferida através do mecanismo calor (Q), que atravessa um ponto do condutor e o intervalo de tempo em que isso ocorre (Δt). É usualmente medido em cal/s.

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$



É possível demonstrar que, caso a energia térmica seja transferida apenas ao longo da barra homogênea, a temperatura cai linearmente ao longo dessa barra:



O fluxo de calor (ϕ) é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre os extremos ($T_1 - T_2$) e a área de seção reta (A), contudo, é inversamente proporcional ao comprimento (L).

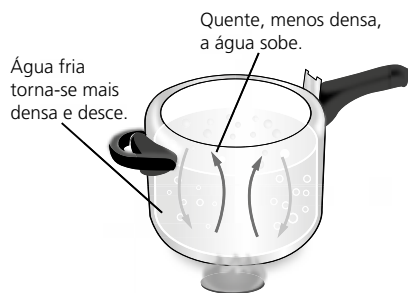
$$\phi = k \cdot \frac{A \cdot (T_1 - T_2)}{L}$$

A constante **k** depende do material e é chamada de constante de condutividade térmica, medida em cal/s · m · °C.

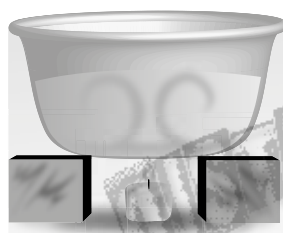
Convecção

Os líquidos e os gases transmitem calor principalmente por convecção. Convecção é o processo de transferência de calor por meio do deslocamento de matéria do fluido de um local para outro. Tal movimentação da matéria ocorre devido à diferença de densidade criada pelo desequilíbrio térmico entre as partes do sistema.

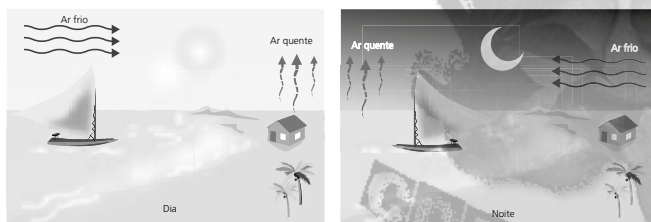
Em geral, as partes mais quentes são menos densas e tendem a subir, enquanto as partes mais frias são mais densas e tendem a descer. Tendo em vista esses fatores, note que os processos de aquecimento por convecção devem ser feitos de baixo para cima. Por isso, colocam-se as panelas sobre o fogo e não abaixo dele.



No mesmo sentido, se o objetivo for resfriar através do processo de convecção, isso deverá ser feito de cima para baixo. É o caso da geladeira. O congelador situa-se na parte superior para receber o calor oriundo dos alimentos por meio da convecção. Depois de resfriado pelo congelador, o ar frio fica mais denso e desce para receber mais calor dos alimentos. Por esse motivo, a geladeira é feita de prateleiras vazadas (grades) que não devem ser recobertas com panos ou plásticos, justamente para facilitar o processo de convecção.



A convecção, juntamente com a diferença de calor específico entre areia e água, também explica o sentido das brisas nas proximidades da praia:



Durante o dia, a areia encontra-se à maior temperatura, irradiando calor para o ar acima dela, fazendo-o subir, deixando espaço para que o ar frio sobre as águas flua para a praia.

À noite, a água, que apesar de ter grande calor específico, passou o dia recebendo radiação solar, encontra-se à maior temperatura que a areia, demorando a resfriar. Por isso, inverte-se o sentido da brisa, que flui da praia para o mar.

Irradiação ou radiação

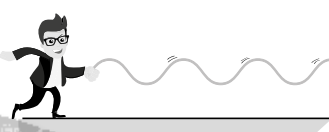
Sabemos que a condução ocorre preferencialmente em sólidos e que a convecção só pode ocorrer em fluidos (líquidos ou gases). Então fica a pergunta: como a energia térmica do Sol chega à Terra? A energia térmica do Sol é transmitida à Terra por meio de ondas eletromagnéticas, e transmitida assim recebe o nome de **energia radiante**. Isso é possível porque os campos elétrico e magnético podem existir em regiões onde não há matéria, ou seja, a energia radiante pode se propagar sem a necessidade de um meio material. As ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo com velocidade de $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e são classificadas de acordo com suas frequências ou comprimentos de onda. Lembrando a equação fundamental da ondulatória:

$$c = \lambda f$$

Uma vez que c é constante, representando a velocidade das ondas, concluímos que o aumento de f (frequência da onda) implica na redução de λ (comprimento de onda):

$$c = \lambda \cdot f \uparrow$$

Não se esqueça que a frequência de uma onda depende da frequência de vibração da fonte que a originou. Por exemplo, se você chacoalhar uma corda com baixa frequência, produzirá ondas de baixa frequência e compridas. Contudo, se você chacoalhar a mesma corda com uma maior frequência, produzirá ondas de maior frequência e mais curtas. São também ondas eletromagnéticas as ondas de rádio, as micro-ondas, a luz visível, a radiação ultravioleta, os raios X e os raios gama.



Exercícios

01. (Col. Naval/2014) No dia 15 de abril, desse ano, ocorreu o eclipse lunar total. Nesse fenômeno, a sombra da Terra é projetada sobre a Lua, encobrindo-a por completo. Entretanto, uma parte da luz solar, que atravessou a atmosfera terrestre, refletiu-se na Lua com uma cor avermelhada, produzindo o que se chamou de "Lua de Sangue".

Considerando tal fato e tal fenômeno, analise as afirmativas a seguir e, em seguida, assinale a opção correta.

- Na Lua, onde não há atmosfera, o calor pode se propagar, somente, por condução e irradiação;
- Uma onda sonora, por não haver resistência do ar, propaga-se mais rapidamente na Lua do que na Terra;
- A cor avermelhada, refletida na Lua, ocorreu devido à refração da luz solar, ao atravessar a atmosfera da Terra;
- A luz solar, sendo uma onda eletromagnética, propaga-se na Lua e na atmosfera terrestre com a mesma velocidade;
- Como a gravidade na Lua é cerca de $1/6$ da gravidade na Terra, uma pessoa de 60 kg de massa terá, na Lua, um peso de 100 N, considerando $g_{\text{Terra}} = 10 \text{ m/s}^2$.

- Apenas as afirmativas II, IV e V são verdadeiras.
- Apenas as afirmativas I, III e V são verdadeiras.
- Apenas as afirmativas I, IV e V são verdadeiras.
- Apenas as afirmativas II, III e IV são verdadeiras.
- Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.

02. (EPCar-Afa/2011) Com base nos processos de transmissão de calor, analise as proposições a seguir.
- A serragem é melhor isolante térmico do que a madeira, da qual foi retirada, porque entre as partículas de madeira da serragem existe ar, que é um isolante térmico melhor que a madeira;
 - Se a superfície de um lago estiver congelada, a maior temperatura que a camada de água do fundo poderá atingir é 2°C ;
 - O interior de uma estufa de plantas é mais quente que o exterior, porque a energia solar que atravessa o vidro na forma de raios infravermelhos é parcialmente absorvida pelas plantas e demais corpos presentes e depois emitida por eles na forma de raios ultravioletas que não atravessam o vidro, aquecendo assim o interior da estufa;
 - Durante o dia, sob as túnicas claras que refletem boa parte da energia do Sol, os beduínos no deserto usam roupa de lã, para minimizar as trocas de calor com o ambiente.

São verdadeiras apenas as proposições

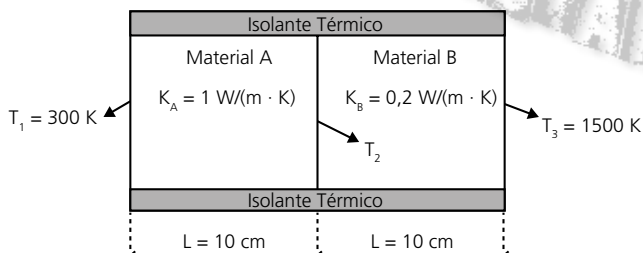
- I e II.
- I e IV.
- II e III.
- III e IV.

03. (EPCar-Afa/2011) Quando usamos um termômetro clínico de mercúrio para medir a nossa temperatura, esperamos um certo tempo para que ele possa indicar a temperatura correta do nosso corpo. Com base nisso, analise as proposições a seguir.
- Ao indicar a temperatura do nosso corpo, o termômetro entra em equilíbrio térmico com ele, o que demora algum tempo para acontecer;
 - Inicialmente, a indicação do termômetro irá baixar, pois o vidro transmite mal o calor e se aquece primeiro que o mercúrio, o tubo capilar de vidro se dilata e o nível do líquido desce;
 - Após algum tempo, como o mercúrio se dilata mais que o vidro do tubo, a indicação começa a subir até estabilizar, quando o termômetro indica a temperatura do nosso corpo.

Podemos afirmar que são corretas as afirmativas

- I e II, apenas.
- II e III, apenas.
- I e III, apenas.
- I, II e III.

04. (IME/2010)



A figura composta por dois materiais sólidos diferentes, A e B, apresenta um processo de condução de calor, cujas temperaturas não variam com o tempo. É correto afirmar que a temperatura T_2 da interface desses materiais, em kelvins, é

Observações:

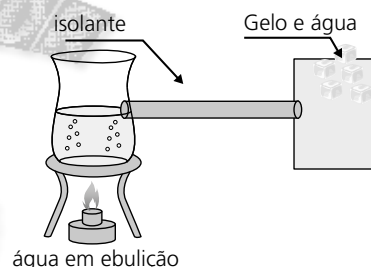
- T_1 : Temperatura da interface do material A com o meio externo;
- T_3 : Temperatura da interface do material B com o meio externo;
- K_A : Coeficiente de condutividade térmica do material A;
- K_B : Coeficiente de condutividade térmica do material B.

- 400
- 500
- 600
- 700
- 800

05. Uma panela de alumínio está sobre um bico de gás. A chama se distribui de forma sensivelmente uniforme sob o fundo da panela, que tem área de 270 cm^2 e espessura de 3 mm . A panela contém água em ebulição, sob pressão normal. Verifica-se que, no estado estacionário, a água está vaporizando à razão de 250 g por minuto. O coeficiente de condutibilidade térmica do alumínio é de $0,5\text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$, e o calor latente de vaporização da água é de $540\text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$. Nessas condições, a temperatura (em $^{\circ}\text{C}$) na face inferior do fundo da panela é

- 120
- 115
- 110
- 105
- 100

06. Uma barra de alumínio, de 40 cm de comprimento, é isolada termicamente em suas laterais, a fim de que haja condução térmica apenas longitudinal. Uma extremidade dessa barra está imersa em um recipiente que contém água em ebulição, enquanto a outra encontra-se submersa em uma mistura bifásica de água e gelo fundente. Admitindo que o experimento é realizado à pressão atmosférica normal, em regime estacionário permanente, qual a temperatura em um ponto da barra que se encontra a 15 cm da extremidade de maior temperatura?



- $62,5^{\circ}\text{C}$
- $15,0^{\circ}\text{C}$
- $37,5^{\circ}\text{C}$
- $40,0^{\circ}\text{C}$

07. Na tragédia ocorrida na Boate Kiss, localizada no Rio Grande do Sul, em janeiro de 2013, algumas orientações de segurança contra incêndios poderiam ter evitado a morte de tantas pessoas. Dentre as diversas orientações dadas pelos bombeiros, uma delas é considerada bem simples: fugir do local o mais agachado possível. Essa orientação se deve ao fato de que

- a fumaça resfria rapidamente e, tendo maior densidade que o ar, tende a subir.
- a fumaça, por ser negra, impede a visualização da porta de emergência.
- a pessoa, mantendo-se inclinada, permanece mais calma. Esse procedimento também é adotado em pousos de emergência na aviação civil.
- os gases oriundos da combustão, por estarem aquecidos, tendem a subir, ocupando a parte superior do local.
- os incêndios ocorrem geralmente na parte superior dos recintos.

08. Observando um refrigerador, a geladeira comum de sua casa, um aluno escreveu as seguintes afirmações:

- A energia na forma de calor que sai dos alimentos chega ao congelador pelo processo de convecção na maior proporção e muito pouco por radiação;
- O congelador está situado na parte superior para receber o ar aquecido pelo calor dos alimentos;
- As camadas que formam as paredes da geladeira são intercaladas por material isolante para evitar a entrada de calor por condução;
- Os espaços internos são divididos por grades vazadas que facilitam o movimento por convecção das massas do ar quente e frio.

As afirmativas corretas são

- A) I, II, III e IV.
- B) I, II e III, apenas.
- C) II e IV, apenas.
- D) II, III e IV, apenas.
- E) III e IV, apenas.

09. Em um experimento, foram utilizadas duas garrafas PET, uma pintada de branco e outra de preto, acopladas cada uma a um termômetro. No ponto médio da distância entre as garrafas, foi mantida acesa, durante alguns minutos, uma lâmpada incandescente. Em seguida, a lâmpada foi desligada. Durante o experimento, foram monitoradas as temperaturas das garrafas:
- A. enquanto a lâmpada permaneceu acesa; e
 - B. após a lâmpada ser desligada e atingir equilíbrio térmico com o ambiente.

A taxa de variação da temperatura da garrafa preta, em comparação à da branca, durante todo experimento, foi

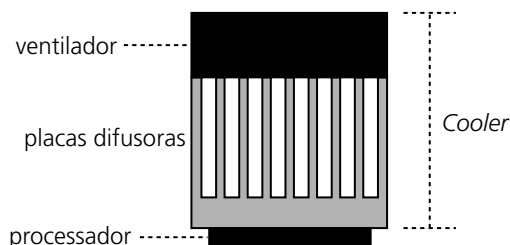
- A) igual no aquecimento e igual no resfriamento.
- B) maior no aquecimento e igual no resfriamento.
- C) menor no aquecimento e igual no resfriamento.
- D) maior no aquecimento e menor no resfriamento.
- E) maior no aquecimento e maior no resfriamento.

10. É muito comum o amplo uso de aparelhos de ar-condicionado durante o verão intenso do Recife. Nessa cidade, uma residência possui uma parede de área 40 m^2 e espessura 20 cm , separando o ambiente interior do exterior. Se a temperatura externa é de 33°C e deseja-se manter a interna igual a 23°C , qual será o gasto por hora de aparelho ligado, considerando-se, apenas, essa parede separadora?

Dados: A condutividade térmica da parede é igual a $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ kW/(mK)}$, e o custo da energia elétrica em kW é de R\$ 0,60.

- A) R\$ 0,30
- B) R\$ 0,90
- C) R\$ 1,20
- D) R\$ 1,50
- E) R\$ 2,50

11. O *cooler*, encontrado em computadores e em aparelhos eletroeletrônicos, é responsável pelo resfriamento do microprocessador e de outros componentes. Ele contém um ventilador que faz circular ar entre placas difusoras de calor. No caso de computadores, as placas difusoras ficam em contato direto com o processador, conforme a figura a seguir.



Vista lateral do cooler e do processador

Sobre o processo de resfriamento desse processador, assinale a alternativa correta.

- A) O calor é transmitido das placas difusoras para o processador e para o ar por meio do fenômeno de radiação.

- B) O calor é transmitido do ar para as placas difusoras e das placas para o processador por meio do fenômeno de convecção.
- C) O calor é transmitido do processador para as placas difusoras por meio do fenômeno de condução.
- D) O frio é transmitido do processador para as placas difusoras e das placas para o ar por meio do fenômeno de radiação.
- E) O frio é transmitido das placas difusoras para o ar por meio do fenômeno de radiação.

12. O frasco de Dewar é um recipiente construído com o propósito de conservar a temperatura das substâncias que ali forem colocadas, sejam elas quentes ou frias. O frasco consiste em um recipiente de paredes duplas espelhadas, com vácuo entre elas, e de uma tampa feita de material isolante. A garrafa térmica que temos em casa é um frasco de Dewar. O objetivo da garrafa térmica é evitar ao máximo qualquer processo de transmissão de calor entre a substância e o meio externo.

É correto afirmar que os processos de transmissão de calor são

- A) indução, condução e emissão.
- B) indução, convecção e irradiação.
- C) condução, convecção e irradiação.
- D) condução, emissão e irradiação.
- E) emissão, convecção e indução.

13. Em uma fábrica, utiliza-se uma barra de alumínio de 80 cm^2 de seção reta e 20 cm de comprimento, para manter constante a temperatura de uma máquina em operação. Uma das extremidades da barra é colocada em contato com a máquina que opera à temperatura constante de 400°C , enquanto a outra extremidade está em contato com uma barra de gelo na sua temperatura de fusão.

Sabendo que o calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g , que o coeficiente de condutibilidade térmica do alumínio é de $0,5 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ e desprezando as trocas de calor do sistema máquina-gelo com o meio ambiente, é correto afirmar que o tempo necessário para derreter 500 g de gelo é

- A) 10 s
- B) 20 s
- C) 30 s
- D) 40 s
- E) 50 s

14. Ainda nos dias atuais, povos que vivem no deserto usam roupas de lã branca como parte de seu vestuário para se protegerem do intenso calor, já que a temperatura ambiente pode chegar a 50°C durante o dia. Para nós, brasileiros, que utilizamos a lã principalmente no inverno, a atitude dos povos do deserto pode parecer estranha ou equivocada, contudo, ela pode ser explicada pelo fato de que

- A) a lã é um excelente isolante térmico, impedindo que o calor externo chegue aos corpos das pessoas, e a cor branca absorve toda a luz evitando que ela aqueça ainda mais as pessoas.
- B) a lã é naturalmente quente e, em um ambiente a 50°C , ela contribui para resfriar um pouco os corpos das pessoas.
- C) a lã é um excelente isolante térmico, impedindo que o calor externo chegue aos corpos das pessoas, e a cor branca reflete toda a luz, diminuindo assim o aquecimento da própria lã.
- D) a lã é naturalmente quente, e o branco é uma "cor fria." Esses fatos combinados contribuem para o resfriamento dos corpos daquelas pessoas.

- Texto para a próxima questão.



O efeito estufa é um fenômeno causado por gases (principalmente gás carbônico, clorofluorcarboneto, metano e óxido nítrico) que estão presentes na atmosfera desde a formação da Terra, há cerca de 4 bilhões de anos. São eles os responsáveis por absorver a radiação infravermelha vinda da Terra e permitir que a temperatura na superfície fique na média de 15 °C (veja o infográfico). Sem esses gases, a vida só seria viável para micróbios em regiões aquecidas por fontes geotermiais.

Publicada na Revista Nova Escola, edição 224, agosto de 2009. Adaptado.

15. Considerando a imagem como referência, analise as proposições a seguir:
- I. O calor vindo do Sol chega à Terra pelo processo de condução;
 - II. O calor que é emitido pela Terra propaga-se pela atmosfera pelos processos de convecção e radiação;
 - III. A radiação infravermelha é mais energética que a radiação visível.

Considerando as proposições apresentadas, assinale a alternativa correta.

- A) Apenas as proposições I e II são verdadeiras.
- B) Apenas a proposição I é verdadeira.
- C) Apenas a proposição III é verdadeira.
- D) Apenas as proposições II e III são verdadeiras.
- E) Apenas a proposição II é verdadeira.

AULA 5: Propagação de calor				
1	2	3	4	5
B	B	D	B	D
6	7	8	9	10
A	D	A	E	D
11	12	13	14	15
C	C	E	C	E